

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Мошнорі́з Микола Микола́йович

УДК 62-531.3

**МЕТОД І ЗАСОБИ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ НАСОСНОЇ
СТАНЦІЇ ВОДОПОСТАЧАННЯ**

Спеціальність 05.09.03 – Електротехнічні комплекси та системи

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Вінниця – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Грабко Володимир Віталійович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри електромеханічних систем автоматизації в
промисловості і на транспорті

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Лозинський Андрій Орестович,
Національний університет "Львівська політехніка",
заступник проректора з наукової роботи

кандидат технічних наук, доцент
Кіселичник Олег Іванович,
Національний технічний університет України "Київський
політехнічний інститут",
доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та
електропривода

Захист відбудеться "23" квітня 2010 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 05.052.05 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ауд. 210, ГУК.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий "19" березня 2010 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

В. Ц. Зелінський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Останнім часом у зв'язку зі збільшенням вартості енергоресурсів помітнішою стає тенденція до зростання цін на електроенергію. Ця обставина, а також висока енергоємність насосного обладнання спонукають до пошуку нових методів та способів зменшення споживання електричної енергії електроприводами насосів. Однією з сфер використання насосних агрегатів з приводом від двигунів середньої та великої потужності є системи водопостачання населених пунктів.

Подача води насосною станцією повинна відповідати потребам споживача, які змінюються протягом доби. Тому її продуктивність потрібно регулювати. Будь-яке відхилення продуктивності насосного агрегату від номінального значення призводить до додаткових витрат енергії. За таких умов великого значення надають оптимізації роботи електроприводів насосної станції водопостачання.

Для регулювання продуктивності насосної станції часто вдаються до зміни кількості працюючих насосних агрегатів, двигуни яких запускаються безпосередньо з електричної мережі. На двигуни середньої та великої потужностей накладаються технічні обмеження до прямого пуску, які доповнюються ще необхідністю витримки паузи між пусками. Тому при забезпеченні потрібного значення продуктивності насосної станції дуже важливим є врахування особливостей пуску двигунів насосів.

Найефективнішим способом отримання потрібного об'єму подачі води в мережу є використання регульованого електроприводу. Він, у порівнянні зі зміною гідравлічних параметрів трубопроводу чи насоса, дає можливість розширити діапазон регулювання продуктивності насосного агрегату за суттєвого зменшення споживання його двигуном електричної енергії. Не дивлячись на порівняно високу вартість перетворювального обладнання, його термін окупності незначний і може становити декілька місяців. Але насосна станція є багатозв'язною системою, у якій зміна параметрів одного насосного агрегату може вплинути на параметри інших. Тому, застосовуючи регульований привод, потрібно вирішити питання оптимальної сумісної роботи насосів та доцільності установки перетворювачів на кожен двигун насосного агрегату.

У зв'язку з викладеним, актуальним є питання оптимального, за мінімумом витрат електричної енергії, керування приводами насосних агрегатів станції водопостачання, за якого насоси узгоджено працюють на мережу споживача, забезпечуючи потрібне значення продуктивності та враховуючи обмеження на прямий пуск приводних двигунів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основний зміст роботи складають результати досліджень, які проводились протягом 2005 – 2009 років, відповідно до наукового напрямку кафедри "Електромеханічні системи автоматизації в промисловості і на транспорті" та госпдоговірної теми "Розробка математичних моделей і засобів підвищення надійності та енергозбереження в транспортних системах" №2905, номер держреєстрації 0107U002089.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є зменшення споживання енергії електричними приводами насосів станції водопостачання при забезпеченні потрібного значення продуктивності та врахуванні обмежень на прямий пуск приводних двигунів.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі завдання:

– проаналізувати відомі методи керування електричними приводами насосної станції водопостачання, які призводять до зменшення споживання ними енергії при забезпеченні потрібного значення продуктивності станції, та обрати економічно доцільний спосіб регулювання продуктивності насосної станції;

– розробити підхід до визначення комбінацій увімкнених насосних агрегатів з врахуванням споживаної двигунами електричної енергії, тривалості безперервної роботи та кількості реалізованих прямих пусків;

- сформулювати закон керування електроприводом регульованого насосного агрегату, який дозволить забезпечити потрібне значення продуктивності станції водопостачання за сумісної роботи насосів;

- розробити підхід до визначення моментів увімкнення електричного двигуна нерегульованого насосного агрегату;

- розробити метод оптимального керування електричними двигунами насосів станції водопостачання, виходячи з мінімального споживання ними електричної енергії при забезпеченні потрібного значення продуктивності станції, врахуванні тривалості безперервної роботи та кількості реалізованих прямих пусків;

- розробити математичну модель системи керування запуском електричного двигуна нерегульованого насосного агрегату з врахуванням обмежень на прямий пуск;

- синтезувати структуру пристрою керування запуском електричного двигуна нерегульованого насосного агрегату з врахуванням обмежень на прямий пуск.

Об'єктом дослідження є процес керування електричними приводами насосів станції водопостачання.

Предметом дослідження є моменти увімкнення електроприводів насосів та швидкість обертання регульованого насосного агрегату.

Методи дослідження. Під час розв'язання поставлених завдань використано методи лінійного динамічного програмування та теорії оптимізації для визначення оптимальних комбінацій увімкнених насосів; чисельні методи розв'язання систем алгебраїчних рівнянь з метою визначення закону керування електроприводом регульованого насосного агрегату; методи математичного моделювання та інтерполяційних розрахунків для визначення невідомих параметрів об'єкта дослідження; метод кінцевих автоматів з метою синтезу цифрових частин структури пристрою керування двигуном нерегульованого насосного агрегату; методи теорії автоматичного керування для визначення параметрів, які характеризують роботу системи в перехідних режимах роботи.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у такому:

- вперше розроблено метод оптимального, за мінімумом витрат електричної енергії, керування приводами насосів станції водопостачання, який дозволяє забезпечити потрібну продуктивність станції з врахуванням обмежень на прямий пуск приводних двигунів, що зменшує витрати електроенергії та підвищує надійність роботи електроприводу насосної станції;

- вдосконалено математичну модель системи контролю ресурсу електричного двигуна, якою, на відміну від відомих, враховуються обмеження на прямий пуск двигунів змінного струму середньої і великої потужностей, що підвищує надійність роботи;

- отримав подальший розвиток метод оптимізації кількості увімкнених електричних двигунів насосів, який, на відміну від відомих, враховує кількість реалізованих прямих пусків, що дозволяє зменшити інтенсивність відмов насосних агрегатів.

Практичне значення одержаних у роботі результатів полягає у такому:

- в якості способу регулювання продуктивності насосної станції обґрунтовано обирати зміну кількості працюючих насосів з регулюванням швидкості обертання одного з них, що, на відміну від відомих способів, забезпечує плавну зміну продуктивності станції в широкому діапазоні за менших витрат на регулювання;

- синтезовано структуру пристрою керування запуском електричного двигуна нерегульованого насосного агрегату, яка, на відміну від відомих, враховує обмеження на прямий пуск двигунів середньої та великої потужностей, що підвищує надійність роботи електроприводу;

- розроблено алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою керування двигуном нерегульованого насосного агрегату, який, на відміну від існуючих, враховує обмеження на прямий пуск двигунів середньої та великої потужностей, що дозволяє реалізувати керування двигуном насоса на сучасній елементній базі.

Результати, отримані в дисертаційній роботі, впроваджено на відокремленому

підрозділі водопровідно-каналізаційного господарства “Вінницяводоканал” та в навчальний процес Вінницького національного технічного університету, що підтверджується відповідними актами.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. У роботі [1] запропоновано цільову функцію оптимізації кількості працюючих насосних агрегатів за критерієм мінімальних витрат електричної енергії; оцінено енергоспоживання двигунів групи паралельно працюючих насосів при різній кількості регульованих приводів. Структурну схему системи керування насосною станцією другого підйому, яка складається з трьох регульованих насосних агрегатів, розроблено в [2]. У роботі [4] здійснено аналіз підходів до узгодження роботи нерегульованих насосних агрегатів та одного регульованого агрегату. Структуру системи керування запуском двигуна насосного агрегату з врахуванням вимог до прямого пуску двигунів середньої і великої потужностей розроблено в [5]. У роботі [7] розроблено структуру пристрою керування насосною установкою для забезпечення потрібного значення тиску чи продуктивності, зокрема, контур зворотнього зв'язку за швидкістю двигуна насоса. Структуру пристрою керування запуском двигуна з врахуванням вимог до прямого пуску двигунів середньої і великої потужностей, зокрема структури схеми підрахунку загальної кількості пусків електричного двигуна, схеми підрахунку кількості пусків з холодного та гарячого станів, розроблено в [8]. У роботі [9] оцінено енергоспоживання двигунів групи паралельно працюючих насосів при різній кількості регульованих насосних агрегатів. Цільову функцію оптимізації кількості працюючих насосних агрегатів за критерієм мінімальних витрат електричної енергії запропоновано в [10].

Апробація результатів дисертації. Результати й основні наукові положення дисертаційної роботи були подані на конкурсі студентських наукових робіт за напрямом "Електромеханіка", Дніпродзержинськ 2006 р.; науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця 2005 – 2009 рр.; Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих вчених "Електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації", м. Кременчук 2006 р.; XIII Міжнародній науково-технічній конференції "Автоматика 2006", м. Вінниця, 2006 р; II Міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування", м. Вінниця 2007 р.; X Міжнародній науково-технічній конференції "Електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації", м. Кременчук 2008 р.; XV Міжнародній науково-технічній конференції "Проблеми автоматизованого електропривода", Крим; IX Міжнародній науково-технічній конференції "Контроль і управління в складних системах 2008", м. Вінниця, 2008 р; XI Міжнародній науково-технічній конференції "Електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації", м. Кременчук 2009 р.

Публікації. Основні результати дисертації опубліковані в одинадцяти наукових працях, з них шість у фахових виданнях, які входять до переліку ВАК України, 2 патенти на корисні моделі та 3 тези доповідей.

Обсяг і структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (112 найменувань), додатків. Основний зміст викладений на 139 сторінках друкованого тексту, містить 54 рисунків, 8 таблиць. Загальний обсяг роботи 169 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність досліджень, зазначено зв'язок роботи з науковими програмами, темами. Вказано мету та завдання дисертаційної роботи. Наведено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, а також описано їх апробацію, публікації та впровадження.

У першому розділі подано короткий огляд особливостей роботи насосних станцій водопостачання та особливостей роботи електричних приводів насосів. Окреслено коло питань, які виникають під час керування насосними агрегатами станції, зокрема, питання вибору способу регулювання продуктивності насосної станції; питання забезпечення точного значення продуктивності станції, яке диктується споживачем відповідно до графіка водопостачання; питання узгодження роботи паралельно працюючих насосних агрегатів; питання ефективної роботи насосних агрегатів у межах робочої частини характеристик; питання надійної роботи приводу насоса при забезпеченні мінімального вичерпання його ресурсу; питання продовження терміну роботи системи паралельно працюючих агрегатів за рахунок рівномірного розподілу навантаження між ними; питання продовження роботи насосних станцій на існуючому обладнанні при підвищених вимогах до економічності роботи та точності подачі рідини в мережу. Усі зазначені питання зводяться до керування електроприводами насосів станції водопостачання, від ефективності якого залежить те, чи забезпечить станція потрібне значення продуктивності; чи працюватимуть насосні агрегати узгоджено; чи забезпечується рівномірний розподіл навантаження між паралельно працюючими електроприводами; чи можливий черговий прямий пуск двигуна насоса для підвищення сумарної продуктивності станції.

На підставі проведеного аналізу сформульовано мету та завдання дисертаційної роботи.

У другому розділі розробляється метод оптимального керування електроприводами насосів станції водопостачання.

Для забезпечення потрібної продуктивності групи паралельно працюючих насосів у широкому діапазоні, достатньо на один з них установити регульований електропривод. При цьому суттєве регулювання забезпечуватиметься ввімкненням чи вимкненням насосів, а точне значення подачі задаватиметься швидкістю обертання регульованого агрегату.

Для визначення комбінацій увімкнених насосних агрегатів, необхідних для забезпечення потрібного значення продуктивності, розроблено підхід, який враховує кількість електроенергії, яка споживається ввімкненими двигунами насосів, тривалість безперервної роботи агрегатів та кількість реалізованих двигунами прямих пусків.

Розроблений підхід ґрунтується на оптимізації цільової функції

$$C = \sum_{i=1}^n \left[(c_i + Z_{\text{мех},i} t_i + Z_{\text{ел},i} N_{\text{п},i}) \cdot x_i(t) \right] + c_{\text{п}} \left[Q_{\text{реал}}(x_i) - Q_{\text{потр}}(t) \right] \rightarrow \min, \quad (1)$$

де c_i – електрична енергія, яка споживається двигуном i -го насоса за годину роботи; $Z_{\text{мех},i}$ – механічний знос i -го насоса під час роботи протягом одиничного проміжку часу t_i ; $Z_{\text{ел},i}$ – електричний знос ізоляції обмоток, контактних з'єднань i -го двигуна за один пуск; $N_{\text{п},i}$ – кількість реалізованих двигуном пусків за період експлуатації; x_i – величини, які характеризують роботу насосів, зокрема, коли ввімкнений i -й насос, то приймається $x_i=1$, у протилежному випадку $x_i=0$; $c_{\text{п}}$ – коефіцієнт затрат енергії на перекачування одного кубометра води; $Q_{\text{реал}}$ – реальне значення продуктивності станції; $Q_{\text{потр}}$ – потрібне значення продуктивності станції, при виконанні обмежень:

– на сумарне значення продуктивності, яке повинно бути більшим або рівним потрібному і не повинно перевищувати значення Q_{max} , при якому можливі аварії в трубопроводі:

$$Q_{\text{потр}} \leq Q_{\text{реал}}(x_i) = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot x_i < Q_{\text{max}}; \quad (2)$$

– на забезпечення сумісної роботи:

$$\begin{cases} H = k_{y1}^2 A_1 + B_1 k_{y1} Q_1 + C_1 Q_1^2; \\ H = k_{y2}^2 A_2 + B_2 k_{y2} Q_2 + C_2 Q_2^2; \\ H = H_c + R_c (mQ_1 + nQ_2)^2; \end{cases} \quad (3)$$

– на змінні x :

$$x_i = 0 \vee 1, \text{ де } i=1, n-1; \quad (4)$$

– на змінну x_5 :

$$x_5 = 1, \quad (5)$$

де H – тиск на виході насосної станції; Q_1, Q_2 – продуктивність насоса відповідно першого та другого типів; $A_1, B_1, C_1, A_2, B_2, C_2$ – коефіцієнти апроксимації напірно-витратних характеристик, які залежать від конструктивних особливостей турбомеханізму і визначаються за паспортними характеристиками насосів; H_c – статичний напір, необхідний для підйому рідини на визначену висоту; R_c – гідродинамічний опір мережі водопостачання.

Обмеження (2) дозволяє забезпечити потрібну продуктивність. Обмеження (3) враховує сумісну роботу m насосів одного типу та n насосів іншого. Йдеться про те, що при паралельній роботі кількох насосів продуктивність кожного з них визначатиметься гідравлічними параметрами та швидкістю обертання інших, а також параметрами мережі споживача, на яку працює станція. Для того, щоб оцінити дійсну продуктивність кожного насосного агрегату, потрібно розглянути систему характеристик насосів (перше та друге рівняння обмеження (3)) та напірно-витратну характеристику мережі споживача (третє рівняння обмеження (3)). При цьому, необхідно взяти до уваги те, що номінальні швидкості обертання двигуна та насоса відрізняються. Тому в рівняннях характеристик насосів введено коефіцієнт узгодження агрегатів першого та другого типів, відповідно k_{y1}, k_{y2} .

Обмеження (4) необхідне для того, щоб врахувати ввімкнений чи вимкнений насосний агрегат. Обмеження (5) дозволяє визначити, який з агрегатів буде регульованим. Як регульований рекомендується обирати насос меншої потужності. За таких умов забезпечується робота інших насосів з більшими коефіцієнтами корисної дії. Крім того, це дозволяє позбутися недовикористання регульованого електроприводу за потужністю.

Задача, яка описується виразами (1) – (5) є задачею математичного програмування лінійного типу. Її розв'язок будь-яким доступним методом, наприклад, методом спряжених градієнтів чи методом Ньютонів, дозволяє визначити оптимальні за споживанням електроенергії комбінації ввімкнених насосних агрегатів, при яких забезпечується потрібне значення продуктивності станції та забезпечується вирівнювання ресурсу електроприводів насосів.

Для забезпечення точного значення продуктивності групи паралельно працюючих насосів, швидкість двигуна одного з них повинна змінюватися за законом, який би забезпечував сумісну роботу насосних агрегатів на мережу споживача. Для виведення цього закону необхідно розв'язати систему рівнянь, яка складається з напірно-витратних характеристик всіх насосів та мережі споживача. Названа система становить сукупність рівнянь (3), доповнену характеристикою регульованого насосного агрегату

$$H = A_2 v^2 + B_2 v Q_3 + C_2 Q_3^2, \quad (6)$$

де v – відносна швидкість обертання регульованого насосного агрегату.

Отримана залежність швидкості обертання буде функцією загального значення подачі Q та кількості працюючих агрегатів m і n . Маючи комбінації ввімкнених насосів для забезпечення потрібного значення продуктивності в кожен годину доби, знаходимо швидкості обертання електричного двигуна регульованого насосного агрегату. Отже, подаючи керуючі сигнали на запуск двигунів потрібної кількості насосів і на підтримання визначеної швидкості обертання одного з них, досягається узгоджена робота насосних

агрегатів, за якої їх сумарна продуктивність буде відповідати потребам споживача.

Щоб оцінити енергоспоживання двигунів насосних агрегатів, необхідно знайти потужності для приводу насосів у кожен годину доби. Названі потужності залежать від продуктивності, тиску та коефіцієнта корисної дії насосних агрегатів. Із системи рівнянь характеристик насосів та мережі можна отримати залежності продуктивностей насосів від потрібної сумарної подачі. Цьому значенню продуктивності відповідатиме певне значення тиску (з напірно-витратної характеристики мережі водопостачання). Коефіцієнт корисної дії насоса також є функцією його продуктивності. Отримані, таким чином, розрахункові потужності насосних агрегатів станції другого підйому міста Вінниця для випадків, коли регулювання продуктивності станції забезпечується зміною кількості працюючих насосів (P_{const}) та випадку, коли один з приводів насосів регульований за швидкістю обертання (P_{var}), подано на рис. 1.

Рис. 1. Потужність, яку споживають всі двигуни насосної станції другого підйому м. Вінниці (результати розрахунків)

Додавши отримані значення потужності та, помноживши на час, знаходимо кількість електричної енергії, яку споживають двигуни насосної станції другого підйому м. Вінниця протягом доби

$$E_{var} = \sum_{i=0}^{23} \sum_{j=1}^5 E_{ij} = 5,399 \cdot 10^4 \text{ (кВт} \cdot \text{добу)}.$$

Різниця між варіантом, коли регулювання відбувається тільки зміною кількості працюючих двигунів становитиме

$$E_{const} - E_{var} = 5,502 \cdot 10^4 - 5,399 \cdot 10^4 = 1,01 \cdot 10^3 \text{ (кВт} \cdot \text{добу)}.$$

Тобто, застосування одного регульованого електроприводу насосної станції другого підйому м. Вінниця, дозволяє зменшити споживання енергії групою п'яти насосів різної потужності на 1,01 МВт·добу. При цьому забезпечується потрібне значення продуктивності насосної станції.

Запропонований підхід можна застосувати до насосної станції, яка має різні за характеристиками та кількістю насосні агрегати.

Зміна кількості працюючих насосів може відбуватися в різні моменти відносно потрібного значення продуктивності станції чи параметрів регульованого насосного агрегату. При цьому є значна ймовірність неефективної роботи системи паралельно працюючих насосів. Йдеться про те, що при ввімкненні чергового насоса, регульований буде вимикатися зворотнім клапаном на його напірному трубопроводі. Спрацювання зворотнього клапана призводитиме до виникнення гідравлічних ударів у мережі та зменшення надійності роботи запірної апаратури. На рис. 2 розглянуто характеристики продуктивності Q_3 , відносної швидкості обертання v та коефіцієнта корисної дії регульованого насосного агрегату η_3 насосної станції другого підйому м. Вінниця під час зміни кількості працюючих насосів.

Рис. 2. Характеристики регульованого насосного агрегату станції другого підйому м. Вінниця під час керування за його продуктивністю

Здійснено порівняння варіантів, коли перемикання відбувається за швидкістю обертання регульованого агрегату, його коефіцієнтом корисної дії та продуктивністю. Отримано, що найсприятливішим буде випадок, коли увімкнення чи вимкнення чергового нерегульованого насосного агрегату відбуватиметься у моменти нульової продуктивності регульованого (див. рис. 2). При цьому на характеристиках насоса відсутня ділянка зворотнього потоку рідини.

Отже, ввімкнення чи вимкнення чергового насосного агрегату повинно відбуватися, коли продуктивність регульованого при їх паралельній роботі дорівнює нулю. Це забезпечує уникнення ділянок роботи, на яких спрацьовує зворотній клапан регульованого насосного агрегату.

Об'єднання розроблених підходів до забезпечення точного регулювання продуктивності станції в широких межах, визначення кількості працюючих насосів, визначення швидкості обертання двигуна регульованого насосного агрегату та моментів увімкнення чи вимкнення чергового насоса становить собою метод оптимізації роботи електроприводів насосної станції водопостачання.

У третьому розділі побудовано математичну модель системи водопостачання, на якій перевірено розроблений метод оптимального керування електричними двигунами насосних агрегатів станції водопостачання. Названу комп'ютерну модель, яка розроблена в пакеті прикладних програм Matlab, подано на рис. 3.

На рис. 3 позначено:

- $5_{nas} - MV$ – система паралельної роботи насосів на мережу споживача;
- Gain 1–5 – елементи, призначені для перетворення швидкості обертання двигуна у відносну швидкість обертання робочого колеса насоса;
- Gain 6–15 – призначені для забезпечення навантаження двигуна, яке зумовлене турбомеханізмом;
- AD – модель асинхронного двигуна;
- Fconv – модель перетворювача частоти;
- Switch1 – Switch4 – блоки запуску двигунів, призначені для забезпечення роботи системи при вимкнених двигунах насосів;
- x1 – x5 – елементи, призначені для створення сигналів запуску двигунів.

Рис. 3. Комп'ютерна модель паралельної роботи п'яти насосних агрегатів на мережу споживача, розроблена в програмі Matlab

Розроблена модель відцентрового насоса враховує форму його напірно-витратної характеристики, яка має максимум. Крім того, вона враховує затримку в часі між моментом прикладення певної швидкості обертання робочого колеса та моментом, коли на виході з'являється відповідне їй значення продуктивності.

Розроблена модель паралельної роботи насосів на мережу споживача враховує напірно-витратні характеристики насосів, характеристики мережі та те, що тиск у трубопроводі визначатиметься параметрами мережі та сумарною продуктивністю станції.

Модель електропривода насосного агрегату дозволяє оцінити роботу системи при частотному способі регулювання швидкості обертання двигуна насосного агрегату. Розроблено моделі системи вимірювання спожитої двигуном енергії (елементи Sum, P_{sum} , Display (див. рис. 3)).

Отримані в розділі 2 результати оптимізації роботи електроприводів насосної станції другого підйому м. Вінниця випробувано на розробленій комп'ютерній моделі. На рис. 4 представлено графік потужності, яку споживають п'ять насосних агрегатів насосної стації другого підйому м. Вінниця, отриманий в результаті комп'ютерного моделювання.

Рис. 4. Потужність, яку споживають всі двигуни насосної станції другого підйому м. Вінниця (результати комп'ютерного моделювання)

На рис. 4 позначено P_{const} – потужність, яку споживають всі двигуни насосної станції, коли регулювання продуктивності забезпечується зміною кількості працюючих насосів; P_{var} – потужність, яку споживають всі двигуни насосної станції, коли один з приводів насосів

регульований за швидкістю обертання.

За результатами комп'ютерного моделювання ефективність запропонованого рішення становить близько 1 МВт потужності на добу.

На рис. 5 зображено сумарну продуктивність насосної станції другого підйому м. Вінниця під час роботи за розробленим методом.

Рис. 5. Потрібне значення продуктивності $Q_{\text{потг}}$ та дійсне значення сумарної продуктивності станції Q

Відносна похибка забезпечення потрібного значення продуктивності при цьому не перевищує 1,5%.

У четвертому розділі розроблено структури засобів забезпечення оптимального керування електричними приводами насосної станції водопостачання.

Розроблено математичну модель роботи пристрою керування запуском двигуна середньої та великої потужності:

$$\left\{ \begin{array}{l} n \leq N; \\ U_1 \geq 0,8U_n; \\ c \leq C_{\text{гр}}; \\ \text{Якщо } c \leq 1,03C_0 \text{ та} \\ \left\{ \begin{array}{l} \text{Якщо } t_n - t_{n-1} \geq T_g, \text{ то } \begin{cases} t_{n+1} = t; \\ h = 0; \\ g = 0; \end{cases} \\ \text{Якщо } \begin{cases} T_h \leq t_n - t_{n-1} < T_g, \\ h \leq N_h, \end{cases} \text{ то } \begin{cases} t_{n+1} = t; \\ h = h + 1; \end{cases} \\ \text{Якщо } t_n - t_{n-1} \leq T_h, \text{ то } t_{n+1} = t + T_h; \end{array} \right. \\ \text{Якщо } \begin{cases} c > 1,03C_0, \\ g \leq N_g, \end{cases} \text{ то } \begin{cases} t_{n+1} = t; \\ g = g + 1, \end{cases} \end{array} \right. \quad (7)$$

де N – кількість прямих пусків за певний період часу (день, рік, термін служби); n – поточна кількість пусків; U_1 – напруга мережі живлення, U_n – її номінальне значення; $C_{\text{гр}}$ – граничне значення температури; C_0 – температура навколишнього середовища; T_h – інтервал між пусками з холодного стану; t_{n-1} – час попереднього запуску; t_n – час поточного запуску; t_{n+1} – час наступного запуску; T_h – інтервал між пусками з холодного стану; T_g – інтервал між пусками з гарячого стану; t – астрономічний час; N_g – допустима кількість пусків з гарячого стану; N_h – допустима кількість пусків з холодного стану.

Для підрахунку кількості пусків з гарячого та холодного станів також використано проміжні змінні відповідно g та h .

Модель (7) враховує обмеження на прямий пуск двигунів середньої та великої потужностей.

Використовуючи математичний апарат секвенцій, синтезовано структуру пристрою керування запуском двигуна середньої та великої потужності, яка зображена на рис. 6.

Рис. 6. Структурна схема пристрою керування запуском двигуна середньої та великої потужностей

На рис. 6 позначено 1 – блок запуску; 2, 3, 4 – відповідно сенсори напруги мережі, температури двигуна та температури навколишнього середовища; 5 – підсилювач сигналу; 6, 7, 8 – аналогові компаратори; 9, 10, 11, 35, 41, 48 – логічні елементи АБО-НІ; 14, 12, 19, 28, 29, 36, 39 – логічні елементи І; 13, 18 – R-S тригери; 15, 20 – генератори імпульсів; 16, 21, 31, 44, 50 – лічильники імпульсів; 17, 22 – регістри; 23 – суматор; 24, 26, 32, 45, 51 – відповідно блоки задання допустимої витримки часу при пуску з холодного стану, допустимої витримки часу при пуску з гарячого стану, допустимої кількості пусків з холодного стану, допустимої кількості пусків з гарячого стану та допустимої кількості пусків; 25, 27, 33, 46, 52 – цифрові компаратори; 30, 37, 43, 49 – одиніватори; 34, 38, 42 – логічні елементи АБО; 40 – елемент затримки сигналу; 47 – блок обнулення кількості пусків.

Частиною схеми, яка містить блоки 1 – 12, видається сигнал на дозвіл запуску двигуна. Блоки 13 – 27 забезпечують відлік часу роботи та часу паузи між пусками двигуна. Частиною схеми, яка містить блоки 28 – 38, видається сигнал на запуск двигуна з холодного стану. Блоки 39 – 46 забезпечують запуск двигуна з гарячого стану. Частиною схеми, яка містить блоки 47 – 52, виконується підрахунок загальної кількості пусків двигуна.

Подана структура враховує обмеження на кількість прямих пусків, температуру статорної обмотки, напругу живлення під час пуску та в процесі експлуатації. Пристрій, побудований за розробленою структурою, може бути використаний для пуску асинхронних і синхронних двигунів середньої та великої потужності. Застосування його для двигунів насосних агрегатів дозволить підвищити надійність прямого запуску агрегатів та уникнути аварійних режимів роботи через зрив роботи одного з насосів.

Запропоновано мікропроцесорну реалізацію розробленої структури пристрою на мікроконтролері фірми Atmel. Розроблено алгоритм роботи пристрою.

Пристрій керування запуском двигуна середньої та великої потужностей, зібраний на сучасній елементній базі та його мікропроцесорна реалізація дозволяють забезпечити керування двигунами нерегульованих насосних агрегатів.

У додатках наведено розрахунки параметрів двигунів та насосів і акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

У дисертації подано теоретичне узагальнення і нове вирішення наукового питання, щодо зменшення споживання електричної енергії двигунами паралельно працюючих насосів станції водопостачання при забезпеченні змінних протягом доби потреб споживача у воді та врахуванні обмежень на прямий пуск двигунів середньої і великої потужностей. При цьому отримано такі основні наукові та практичні результати:

1. При визначенні кількості працюючих насосів для забезпечення потрібного значення продуктивності в кожен годину доби, запропоновано враховувати спожиту двигунами насосів електричну енергію, тривалість безперервної роботи агрегатів та кількість реалізованих їхніми двигунами прямих пусків. Це дає можливість зменшити споживання електричної енергії та продовжити термін роботи системи водопостачання за рахунок рівномірного розподілу між двигунами насосів ресурсу за тривалістю роботи та кількістю прямих пусків.

2. Отримано закон зміни швидкості обертання електроприводу регульованого насосного агрегату, який дозволяє досягти точного значення продуктивності групи паралельно працюючих насосів. При цьому враховано характеристики насосів, мережі споживача та різницю між номінальними швидкостями насоса та двигуна.

3. Увімкнення чи вимкнення чергового насосного агрегату, у групі паралельно працюючих насосів, повинно відбуватися, коли продуктивність регульованого агрегату дорівнює нулю. Це забезпечує уникнення ділянок роботи, на яких спрацьовує зворотній клапан регульованого насосу. Спрацювання зворотнього клапану призводить до додаткових гідравлічних ударів в трубопроводі та негативно проявляється на показниках надійності насосного устаткування.

4. Розроблено метод оптимізації роботи електроприводів насосної станції водопостачання, який полягає у виборі комбінацій увімкнених насосів та значення швидкості обертання двигуна одного з них, за яких забезпечується потрібне значення продуктивності, зменшення споживання електричної енергії, продовження терміну роботи обладнання.

5. Розроблено математичну модель системи керування запуском двигуна середньої та великої потужності, яка враховує обмеження на кількість прямих пусків, температуру статорної обмотки, напругу живлення під час пуску та в процесі експлуатації.

6. Синтезовано структуру пристрою керування запуском двигуна середньої та великої потужності, яка враховує обмеження на кількість прямих пусків, температуру статорної обмотки, напругу живлення під час пуску та в процесі експлуатації. Пристрій, побудований за розробленою структурою, може бути використаний для пуску асинхронних і синхронних двигунів середньої та великої потужності. Застосування його для насосних агрегатів дозволить підвищити надійність прямого запуску двигунів насосів та уникнути аварійних режимів роботи через зрив запуску одного з паралельно працюючих насосів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Мошноріз М. Вдосконалення роботи насосної станції водопостачання / Микола Мошноріз, Володимир Грабко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2006. – №6. – С. 138 – 141.

2. Мошноріз М. Розробка моделі системи керування насосною станцією другого підйому / Микола Мошноріз, Володимир Грабко // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2007. – №1.

Режим доступу до журн.: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2007-1/ukr/07mmmts.pdf>.

3. Мошноріз М. М. Визначення оптимального співвідношення продуктивностей насосних агрегатів станції для забезпечення їх сумісної роботи / М. М. Мошноріз // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – №1. – С. 69 – 73.

4. Мошноріз М. Підвищення ефективності керування насосними агрегатами станції водопостачання / Микола Мошноріз, Володимир Грабко // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. – 2008. – Випуск 3(50). Частина 1. – С. 145 – 148.

5. Мошноріз М. Система керування запуском насосного агрегату станції водопостачання / Микола Мошноріз, Володимир Грабко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2008. – Випуск 30. – С. 310 – 311.

6. Мошноріз М. М. Синтез структури пристрою керування запуском двигуна великої потужності / М. М. Мошноріз // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2009. – Випуск 4 (57). – Ч. 1. – С. 36 – 39.

7. Пат. 28955 Україна, МПК⁸ F 04 D 15/00. Пристрій керування насосною установкою / Грабко В. В., Мошноріз М. М.; Вінницький національний технічний університет. – №u200709994; заявл. 06.09.2007; опубл. 25.12.2007, Бюл. № 21.

8. Пат. 39795 Україна, МПК G 07 C 3/00. Пристрій керування запуском насосного агрегату / Грабко В. В., Мошноріз М. М.; Вінницький національний технічний університет. – № u200812464; заявл. 23.10.08; опубл. 10.03.09, Бюл. № 5.

9. Мошноріз М. Оптимізація режимів роботи насосної станції водопостачання / Микола Мошноріз, Георгій Горячев // Електромеханічні системи, методи моделювання та

оптимізації : всеукраїнська наук.-техн. конф. молодих вчених і спеціалістів, 19-21 квітня 2006 р. : тези доповідей. – К., 2006. – С. 35.

10. Мошноріз М. Вдосконалення роботи насосної станції водопостачання / Микола Мошноріз, Володимир Грабко // Автоматика-2006: міжнар. наук.-техн. конф., 25 – 28 вересня 2006 р. : тези доповідей. – Вінниця, 2006. – С. 124.

11. Мошноріз М. М. Математична модель системи керування запуском насосного агрегату станції водопостачання / М. М. Мошноріз // Контроль і управління в складних системах – 2008: IX міжнар. наук.-техн. конф., 21 – 24 жовтня 2008 р. : тези доповідей. – Вінниця, 2008. – С. 10.

Режим доступу до журн.:

http://www.vstu.vinnica.ua/mccs2008/materials/subsection_2.1.pdf

АНОТАЦІЯ

Мошнорізі М. М. Метод і засоби оптимізації роботи електроприводів насосної станції водопостачання. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – Електротехнічні комплекси та системи. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця. – 2010.

Дисертація присвячена питанню зменшення споживання енергії електричними приводами насосної станції водопостачання при забезпеченні потрібного значення продуктивності та врахуванні обмежень на прямий пуск приводних двигунів.

Розроблено метод оптимізації роботи електроприводів насосної станції водопостачання, який полягає у виборі комбінацій увімкнених насосів та швидкості обертання двигуна одного з них, за яких забезпечується потрібне значення продуктивності, зменшення споживання електричної енергії, продовження терміну роботи обладнання. Запропоновано структури засобів для забезпечення керування електричними двигунами насосів у відповідності з розробленим методом.

Ключові слова: електропривод, зменшення енергоспоживання, регульований насосний агрегат, паралельна робота насосів, прямий пуск двигунів.

ANNOTATION

Moshnoriz M. M. Method and means for optimization of the electric water pump station – Manuscript.

Candidate's thesis on speciality 05.09.03 - The electrical engineering complexes and systems. - Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. - 2010.

Thesis covers the question of reduction of energy consumption of electric drives of the water-supply pumping station while providing necessary value of productivity and consideration of limits to direct start driving engines.

The method of optimization of work of electric drives of the water-supply pumping station is developed, which consists in choice of combinations of the switched pumps and engine rotation speed of one of them, at which necessary value of productivity, reduction of electric energy consumption, extension of service life of equipment is provided. The structures of facilities are offered for providing of control of the electric engines of pumps in accordance with the developed method.

Keywords: electric drive, reduction of energy consumption, adjustable pump unit, parallel work of pumps, direct start of engines.

АННОТАЦИЯ

Мошнориз Н. Н. Метод и средства оптимизации работы электроприводов насосной станции водоснабжения. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы. – Винницкий национальный технический университет, Винница. – 2010.

Диссертация посвящена вопросу уменьшения потребления энергии электрическими приводами насосной станции водоснабжения при обеспечении нужного значения производительности и учете ограничений на прямой пуск приводных двигателей.

Разработан метод оптимизации работы электроприводов насосной станции водоснабжения, который заключается в выборе комбинаций включенных насосов и скорости вращения двигателя одного из них, при которых обеспечивается нужное значение производительности, уменьшения потребления электрической энергии, продолжение срока работы оборудования. Предложены структуры средств для обеспечения управления электрическими двигателями насосов в соответствии с разработанным методом.

В диссертации обоснован способ регулирования производительности группы параллельно работающих насосов путем объединения изменения количества насосов и регулирования скорости вращения двигателя одного работающего агрегата. Определение количества насосов производится решением оптимизационной задачи энергопотребления с учетом продолжительности работы насосных агрегатов и количества прямых пусков их электродвигателей.

Разработан способ определения зависимости скорости вращения двигателя регулируемого насосного агрегата, при котором обеспечивается точное значение производительности насосной станции и совместная работа насосов. Учтено вид характеристик насосного агрегата, характеристика сети потребителя, а также разность номинальных скоростей двигателя и насоса.

Разработан подход к определению момента включения или выключения насоса при его работе в группе с одним регулируемым.

Осуществлено сопоставление энергопотребления электродвигателями параллельно работающих насосов при регулировании их производительности изменением количества насосов и регулировании изменением скорости вращения одного работающего агрегата.

Разработана компьютерная модель системы водоснабжения, которая позволяет оценить энергопотребление двигателями насосов при их параллельной работе на сеть потребителя при одном регулируемом по скорости агрегате. Разработанный метод проверен на компьютерной модели и сопоставлен со случаем, когда производительность насосной станции обеспечивается изменением количества работающих насосов.

Разработана математическая модель работы устройства прямого пуска двигателя средней или большой мощности, которая учитывает ограничения на прямой пуск названных двигателей.

Используя математический аппарат секвенций произведен синтез структуры устройства управления пуском электрического двигателя насосного агрегата, которая учитывает ограничения на прямой пуск двигателей средней или большой мощности. Предложена микропроцессорная реализация этого устройства на микроконтроллере фирмы Atmel. Написан алгоритм работы микроконтроллера с учетом названных ограничений.

Для управления двигателем регулируемого насосного агрегата разработано устройство, позволяющее поддерживать нужное значение производительности или давления на выходе насоса по скорости вращения его рабочего колеса.

Ключевые слова: электропривод, уменьшение энергопотребления, регулируемый насосный агрегат, параллельная работа насосов, прямой пуск двигателей.

Підписано до друку 18.03.2010 р. Формат 29.7×42 1/4
Наклад 100 прим. Зам. № 2010-050
Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету.
м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 59-81-59